





wobei die Fallbeschleunigung  $g$  und die Hubweggröße  $\Delta y$  und die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  geschätzt werden.

Auf eine exakte Bestimmung der Querschwelligkeit und damit auch des Schwimmwinkels über Seitenkräfteänderungen wird verzichtet. Besser läßt sich die Querenbewegung indirekt über Schräglauwinkeländerungen ablesen, indem die Drehung des Fahrzeugs durch Erzeugen von Giermomenten eingeleitet wird.

Die Struktur des Fahrformreglers ist in einem vereinfachten Blockschaltbild dargestellt. Im Beobachter werden modellgetreu aus den Maßgrößen (Giergeschwindigkeit  $\dot{\psi}$ , Lenkwinkel  $\delta$  und Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$ ) sowie aus den Schätzgrößen (Fahrzeuglängsgeschwindigkeit  $\hat{v}_x$  und Bremsdruck  $\hat{p}_{\text{Brem}}$ ) die Schräglauwinkel  $\alpha$ , der Schwimmwinkel  $\beta$  und die Fahrzeugquerschwelligkeit  $\dot{\psi}$  sowie die Resultante in Seiten- und Normaleinrichtung  $F_y$  und die resultierende Radkräfte  $F_{Ri}$  ermittelt.

Die Sollwerte für den Schwimmwinkel  $\beta_{\text{Soll}}$  und die Giergeschwindigkeit  $\dot{\psi}_{\text{Soll}}$  werden bestimmt aus den Fahrerangegebenen Lenkwinkel  $\delta$ , Vorgebendormoment  $M_{\text{Vorg}}$  (Gaspedalstellung) und Bremsdruck  $p_{\text{Brem}}$ . Der geschätzte Fahrzeuglängsgeschwindigkeit  $\hat{v}_x$  und der Hubweggröße  $\Delta y$  mit Hilfe der Geschwindigkeit  $\dot{\psi}$  und der gemessenen Querschwelligkeit ermittelt wird. Dabei werden auch das Übergrößenverhalten des Fahrzeugs sowie Sonderzustufen, wie geneigte Fahrbahn oder unterschiedliche Haftreibungszahlen an den Fahrzeugen (4-Split), berücksichtigt.

Der Fahrformregler ist als Zustandsregler ausgelegt. Die geregelten Zustandsgrößen sind der Schwimmwinkel und die Giergeschwindigkeit. Der Regler berücksichtigt den Schwimmwinkel mit steigenden Werten zunehmend. Die Ausgangsgröße des Zustandsreglers entspricht einem Giermoment  $M_{\text{Gier}}$ .

Dieses Giermoment wird nun ebenfalls mit Hilfe der inszenierten Zweigspun-Fahrzeugmodells und den aktuellen Schupfverhältnissen  $\lambda$ , den resultierenden Radkräften  $F_{Ri}$  und den Schräglauwinkel  $\alpha$ , in Schlupfänderungen an gegebenen Rädern umgerechnet. Wenn

das Fahrzeug zum Beispiel beim freien Rollen in einer Rechtskurve übersteuert und die Giergeschwindigkeit übersteuert wird, dann wird unter anderem am linken Vorderrad der Selbstlenkstift vorgegeben. Dadurch wird eine nach links drehende Giermomentänderung auf das Fahrzeug, welche die zu große Giergeschwindigkeit abbaut. Der Selbststift wird durch die unterlegten ABS- bzw. ASR-Regler verändert. Im ungünstigsten Fall oder wenn der Druck den Fahrer vorgegebene Druck nicht ausreicht, um den gewünschten Schlupf einzustellen (Reibensättigung), wird der Druck in den Bremskreisen abgebaut.

Im ASR-Betrieb übergibt der Fahrformregler neben einem anderen absoluten Antriebschupf-Toleranz  $\lambda_{\text{An}}$  und einen Antriebschupf-Toleranz  $\lambda_{\text{An}}$  auch einen Bremsenspedal-Toleranz  $\lambda_{\text{Brem}}$  zur Einstellung des erforderlichen Fahrzeugesolomonares  $M_{\text{Solomon}}$ . Um die ASR- und ASR-Grundfunktionen spürbare Verbesserungen bei der aktionsgerechten Auswertung des Kraftschuttpotentials zu erreichen, werden alle vorliegenden Maß- und Schätzgrößen auch in den unterlegten Reglern konsequent genutzt.

Unterlegte Bremschupfregler (ABS) und Motorschlupfregler (ASR)  
Für die Regelung des Radchlupfes auf einem vorgegebenen Sollwert nutzt der Schupf-Regler die Giergeschwindigkeit des Fahrzeugs und nicht gemessene, sondern aus den Radgeschwindigkeiten  $v_{Ri}$  berechnete. Dazu werden während einer ABS-Regelung einzelne Räder „unterbremsen“, d.h. die Schlupfregelung wird unterbrochen, das aktuelle Radbremmoment definiert, gaspedal und eine Zeitlang konstant gehalten. Unter der Annahme, daß das Rad gegen Ende dieser Zeit abge-  
bricht, kann aus der momentanen Bremskraft  $F_{Ri}$  und der Radkraftfähigkeit  $C_i$ , die (schlupfregulierten) Radgeschwindigkeit  $v_{Ri}$  berechnet werden.

$$v_{Ri} = v_{\text{Soll}} \cdot \frac{C_i - \beta_i}{C_i - \beta_{\text{Soll}}}$$

## Elektronisches Stabilitäts-Programm

Die im Radchupfregler bestimmten Radgeschwindigkeit  $v_{Ri}$  wird über die Giergeschwindigkeit  $\dot{\psi}$ , den Lenkwinkel  $\delta$ , die Querschwelligkeit  $\dot{\psi}$  und die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und die Fahrformregler in den Schupfregler transformiert und daraus die Schupfverhältnisse  $\lambda$  in der Lenkeinrichtung ermittelt. Anschließend wird  $\lambda$  auf die vier Radchupfverhältnisse zurücktransformiert, um die Radchupfverhältnisse (relativ) aller vier Räder zu erhalten. Somit kann auch für die verbleibenden drei geregelten Räder der Schlupf  $\lambda$  berechnet werden:

$$\lambda = 1 - \frac{v_{Ri}}{v_{\text{Soll}}}$$

$$M_{\text{Solomon}} = - \frac{2M_{\text{Vorg}}}{v_{\text{Soll}}} + \frac{F_{y_{\text{Soll}}}}{R} \cdot \frac{d}{d\lambda}$$

$$M = \min(M_{\text{Solomon}}, M_{\text{Brem}})$$

Ausgehend von der stationären Bremskraft  $F_{Ri}$  wird entsprechend der Schlupfregelabweichung über ein PID-Regelgesetz das Sollmoment am Rad gebildet.



